

РАДИОМЕТРИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МИН

Оробец А.А.

Известно, что при широкомасштабных боевых действиях крайне актуальна экспресс-диагностика поверхности земли с целью обнаружения противотанковых мин, проводимая с подвижного объекта (например, танка или боевой машины пехоты). Как известно, при широкомасштабных боевых действиях противотанковые мины устанавливаются непосредственно на поверхности земли. Это связано с более высокой производительностью данного способа установки. Кроме того, дистанционные средства установки мин (авиационные, артиллерийские и т.д.), обладая наибольшей производительностью, устанавливают мины только на поверхности земли.

Одним из возможных средств обнаружения мин, установленных «внаброс», является использование радиометрических датчиков, регистрирующих собственное излучение тел в радиодиапазоне. В данном методе используются основные принципы радиотеплолокации. Радиотеплолокация во многом схожа с радиолокацией, и, также как и классическая радиолокация, предназначена для определения координат удаленных объектов. Однако, если в радиолокации в качестве источника излучения, подсвечивающего цель, используется излучение, генерируемое самой радиолокационной станцией, то при обнаружении объектов радиотеплолокатором в качестве источника подсветки используется естественное излучение самих объектов и фона. В этом отношении радиотеплолокация близка к пассивным инфракрасным датчикам обнаружения, однако, в качестве рабочего диапазона длин волн используется радиодиапазон.

Тепловое излучение создают нагретые тела: солнце, земная поверхность, различного рода сооружения и предметы. Тепловое излучение возникает в телах за счет преобразования внутренней тепловой энергии излучающего объекта в энергию электромагнитного поля и представляет собой случайный процесс, по своим статистическим характеристикам подобный тепловому шуму. Тепловое радиоизлучение имеет широкий спектр, простирающийся от инфракрасных волн до волн сантиметрового диапазона.

Идеальным источником теплового излучения является абсолютно черное тело (АЧТ). Абсолютно черных тел в природе не существует, но в узком диапазоне частот излучательная способность некоторых материалов приближается к излучательной способности АЧТ.

В теории теплового излучения при описании количественных соотношений принято пользоваться спектральными и энергетическими величинами. Спектральные величины определяются спектральными плот-

ностями мощности; энергетические - по суммарной мощности во всем диапазоне излучения.

Спектральной плотностью излучения называется отношение мощности, излучаемой элементарным участком dS излучающей поверхности S в пространство, ограниченное полусферой, описанной вокруг этого участка, и плотностью участка, к площади элементарного участка dS , т.е.

$$g = \frac{dP}{dS} \text{ [Вт / Гц} \cdot \text{м}^2\text{]},$$

Под элементарным участком понимается малая площадь излучающей поверхности, в пределах которой плотность излучения можно считать равномерной.

Основным законом теплового излучения является закон, выражающий связь спектральной интенсивности излучения АЧТ с температурой. Математически этот закон определяется формулой Планка :

$$g(\lambda, T) = \frac{2\pi}{\lambda^2} \cdot \frac{hf}{\exp(hf/kT) - 1} \text{ [Вт / Гц} \cdot \text{м}^2\text{]}, \quad (1)$$

где $h = 6,624 \cdot 10^{-24}$ Дж·с - постоянная Планка; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К - постоянная Больцмана; f - частота, Гц; λ - длина волны, м; T - абсолютная температура, К.

В диапазоне теплового радиоизлучения справедливо неравенство $hf \ll kT$, поэтому формулу Планка можно упростить.

Представив экспоненциальную функцию рядом:

$$\exp(hf/kT) = 1 + \frac{hf}{kT} + \frac{1}{2!} \left(\frac{hf}{kT} \right)^2 + \dots$$

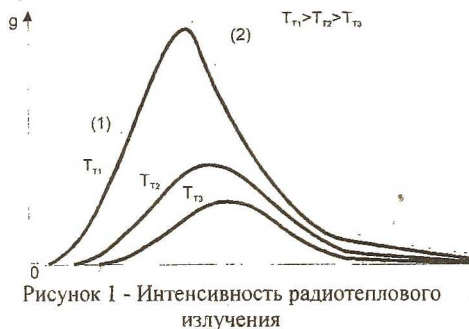
и ограничившись двумя первыми членами ряда, получим формулу Релея-Джинса для вычисления спектральной интенсивности теплового радиоизлучения:

$$g(\lambda, T) = \frac{2\pi}{\lambda^2} kT, \text{ [Вт / Гц} \cdot \text{см}^2\text{]} \quad (2)$$

На рисунке 1 показана зависимость интенсивности радиотеплового излучения от длины волны, построенная на основании формул (1) и (2).

Отношение спектральной плотности $g_1(\lambda, T)$ тела при данной температуре к спектральной плотности $g(\lambda, T)$ АЧТ при той же температуре называют излучательной способностью: $\varepsilon = g_1(\lambda, T)/g(\lambda, T)$.

Свойства реального излучателя, излучение которого отлично от излучения АЧТ, можно характеризовать эквивалентной яркостной температурой $T_s = \varepsilon T$.



Максимум излучения приходится на длину волны λ_m , значение которой в мкм определяется из соотношения Вина: $\lambda_m = 3 \cdot 10^3 / T$.

Рисунок 1 - Интенсивность радиотеплового излучения

Для диэлектриков, лежащих на поверхности земли, яркостная температура примерно на 20 % меньше термодинамической температуры T , в то время как для металлического корпуса мины это отличие достигает 40%. В связи с этим радиотеплолокатор сможет выделить мину среди других объектов (камни, упавшие при взрывах фрагменты деревьев и пр.), лежащих на земле и находящихся с ней в термодинамическом равновесии.

При одинаковой температуре объектов их излучения различаются из-за разной излучательной способности ε , и обнаружение объектов возможно по контрасту излучений, или по контрасту яркостных температур $\Delta T = T\varepsilon_1 - T\varepsilon_2 = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)T$. Иначе говоря, при сканировании радиотеплолокатором прилегающей к нему области пространства, мины будут выглядеть как объекты, нагретые не до температуры T , а как объекты, нагретые до так называемой «кажущейся» температуры, отличающейся от яркостной температуры почвы на величину контраста.

Зная кажущуюся температуру, можно, используя закон Релея-Джинса, определить спектральную интенсивность излучения с поверхности S в единичном телесном угле: $g(\lambda, T) = \frac{2\pi}{\lambda^2} kT_{\text{каж}} S$, [Вт / Гц · гр].

Тогда мощность в телесном угле $\Delta\Omega$:

$$P_{\text{ср}} = \left(\frac{2\pi}{\lambda^2} kT_{\text{каж}} S \right) F \Delta\Omega,$$

где F - полоса частот сигнала, Гц;

$\Delta\Omega = S_{\text{пр}} / R^2$, где R - дальность до цели, м; $S_{\text{пр}}$ - площадь приемной антенны, м². Для характерных размеров противотанковой мины (около 0.5 метра), обнаруживаемой с расстояния в 10 метров радиотеплолокатором, работающем в 3-см диапазоне волн с полосой в 1 ГГц и использующем антенну в виде пирамидальной рупорной антенны с

$S_{пр} = 0.04$ кв. метра, принимаемая мощность равна примерно 1 пкВт.

При работе в миллиметровом диапазоне волн пропорционально изменятся как длина волны, так и площадь приемной антенны, в связи с чем принимаемая мощность будет того же порядка.

Таким образом, обнаружитель мин, использующий принцип радиотеплолокации (радиометр) и работающий с мощностями порядка пиковатта, необходимо строить по так называемой «модуляционной» схеме, представленной на рис. 2.

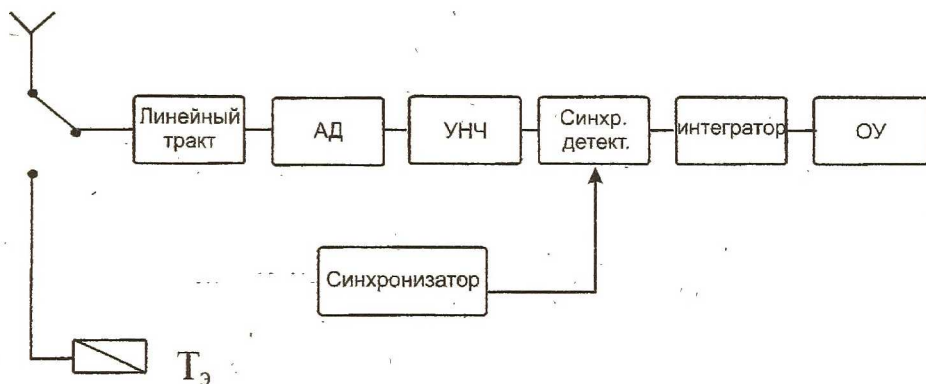


Рисунок 2 - Схема радиометра модуляционного типа

Здесь сигнал, принимаемый антенной радиометрического датчика, периодически прерывается и вместо него подается сигнал от нагретого до температуры T_z резистивного элемента. Подключение производится с помощью синхронизатора, управляющего переключателем. Одновременно сигнал синхронизатора подается на синхронный детектор. Такая схема позволяет превратить шумовой сигнал с нулевой постоянной составляющей в модулированный сигнал, в глубине модуляции которого и содержится информация о наличии мины. Синхронный детектор позволяет резко увеличить помехоустойчивость устройства и его чувствительность.

Радиометрические датчики размещаются на наземном носителе (например, на БМП), причем антенна радиометра установлена на сканирующем устройстве, обеспечивающем просмотр полосы местности впереди движения наземного носителя по азимуту. Построчная развертка обеспечивается за счет движения носителя. Такой выбор параметров и способ размещения устройства использован, в частности, в разработанном Центральным НИИ радиоэлектронных систем радиометрическом комплексе для обнаружения противотанковых мин в миллиметровом диапазоне (по данным с сайта ЦНИИРС). Выбор диапазона связан с тем, что в этом диапазоне при приемлемой апертуре антенны радиометра можно обеспечить

достаточно высокий контраст противотанковых мин, установленных на поверхности земли.

Комплекс включает в себя: радиометр 8-мм диапазона длин волн, генератор шумовых сигналов того же диапазона и телевизионную камеру. Все эти устройства соосно закреплены на механически сканируемом устройстве, обеспечивающем сканирование в двух плоскостях - по углу места и азимуту. Таким образом, обеспечивается возможность просмотра участка местности с неподвижного носителя аппаратуры. Диаграмма направленности основного лепестка антенны радиометра составляет 1° , а для антенны генератора шумовых сигналов - 10° . Относительное расположение антенны генератора и радиометра выбрано таким образом, чтобы добиться минимального уровня прямого сигнала от генератора к радиометру. Телевизионная камера обеспечивала возможность оператору сравнивать получаемые изображения в радиодиапазоне и в видимом спектре.

Были проведены исследования работоспособности данной системы. Для этого на определенном участке местности, на поверхности грунта, было разложено девять противотанковых мин типа ТМ-62М с металлическим корпусом. Результат исследования оказался таковым, что из 9-ти выложенных мин было обнаружено 7, что составляет 78% от общего количества выложенных мин.

В заключение можно отметить, что предлагаемый метод обнаружения мин и объектов на фоне подстилающей поверхности применим и для других видов техники: танков, артиллерийских орудий и т.п.

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЭЛЕКТРОКАРДИОСИГНАЛА ДЛЯ СИСТЕМ ФЕТАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА

Калакутский В.Л., Конюхов В.Н.

Одним из наиболее перспективных направлений развития современных методик диагностики состояния матери и плода в последние сроки беременности является определение показателей стресса путем анализа кардиоинтервалов плода, выделенных из электрокардиографического сигнала, зарегистрированного с абдоминального отведения матери. В связи с этим новый импульс развития получили методики выделения кардиоинтервалов плода, с использованием современного математического аппарата. Возможность применения более совершенных алгоритмов выделения электрокардиосигнала плода появилась в результате разработок новой элементной базы, которая позволяет снизить сложность схемотехнических решений и затрат на производство подобной аппаратуры. Вместе с